

Immobilization of silver nanoparticles on a support, useful as a catalyst for the oxidation of alkanes, comprises addition of a compound to a silver salt solution to form a poorly soluble silver salt

Publication number: DE10032400 (A1)

Publication date: 2002-01-17

Inventor(s): SCHUETH FERDI [DE]; LANGE DE OLIVERIA ARMIN [DE];
WOLF ANKE [DE]

Applicant(s): STUDIENGESELLSCHAFT KOHLE MBH [DE]

Classification:


- **international:** *B01J23/50; B01J35/00; B01J35/10; B01J37/03; C07D301/10; H01M4/92; H01M4/90; B01J23/48; B01J35/00; B01J37/00; C07D301/00; H01M4/90; (IPC1-7): C07C5/02; B01J23/50; C07D301/10; B01J23/50; B01J101/50*


- **European:** *B01J23/50; B01J35/00C; B01J35/10; B01J37/03B; C07D301/10; H01M4/92*

Application number: DE20001032400 20000706

Priority number(s): DE20001032400 20000706

Cited documents:

 DE19835481 (A1)

 US2424083 (A)

Abstract of DE 10032400 (A1)

A process for the immobilization of silver nanoparticles (I) having a diameter of less than 10 nm on a support material by deposition of silver onto the dispersed support material comprises addition of a compound (II) that forms a poorly soluble salt with silver to a silver salt solution. An Independent claim is included for a catalyst (III) containing silver nanoparticles (I) immobilized on a support material.

.....
Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 32 400 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
B 01 J 23/50
C 07 D 301/10
// (B01J 23/50,
101:50)C07C 5/02

②① Aktenzeichen: 100 32 400.2
②② Anmeldetag: 6. 7. 2000
④③ Offenlegungstag: 17. 1. 2002

DE 100 32 400 A 1

⑦① Anmelder:
Studiengesellschaft Kohle mbH, 45470 Mülheim,
DE

⑦④ Vertreter:
Patentanwälte von Kreisler, Selting, Werner et col.,
50667 Köln

⑦② Erfinder:
Schüth, Ferdi, 45470 Mülheim, DE; Lange de
Oliveria, Armin, 45468 Mülheim, DE; Wolf, Anke,
45468 Mülheim, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:
DE 198 35 481 A1
US 24 24 083

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Auf Trägermaterialien immobilisierte Silber-Nanopartikel als Katalysatoren

⑤⑦ Die vorliegende Erfindung betrifft auf Trägermaterialien immobilisierte Silber-Nanopartikel, ein spezielles Verfahren zu deren Herstellung und ihre Verwendung für Katalysatoren z. B. zur selektiven Herstellung von Oxygenaten aus Kohlenwasserstoffen, zur Totaloxidation von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid, als Reduktionskatalysatoren und Elektrodenkatalysatoren sowie für Sensorelemente.

DE 100 32 400 A 1

- [0001]** Für auf Metalloxiden immobilisierte Gold-Nanopartikel sind besondere Eigenschaften, die auf das Vorliegen von Gold-Partikeln kleiner 10 nm zurückgeführt werden, bekannt. Diese Eigenschaften liegen insbesondere in einer katalytischen Aktivität, die mit der Größe der Gold-Partikel korrespondiert, d. h. die Selektivität und Aktivität in einer Reaktion hängt u. a. von der Partikelgröße ab.
- [0002]** Beispielsweise katalysieren durch Auffällung auf Titandioxid immobilisierte Gold-Partikel, die einen Durchmesser von ungefähr 4 nm besitzen, in einem Wasserstoff/Sauerstoff-Gemisch die Epoxidation von Propen, während bei einem Durchmesser von ungefähr 2 nm die Hydrierung von Propen unter ansonsten gleichen Bedingungen katalysiert wird. [M. Haruta; Catal. Today 36 (1997) 153–166]. Von dem Autor wird ausdrücklich betont, daß für durch incipient-wetness-Imprägnierung hergestellte Gold-Katalysatoren keine derartige spezifische katalytische Aktivität erzielt werden kann, sondern lediglich für durch Auffällung hergestellte Goldkatalysatoren [M. Haruta; Catalysis surveys Japan 1 (1997) 61–73].
- [0003]** Für auf Titandioxid immobilisierte Gold-Nanopartikel, die durch Verdampfen eines Gold-Titan-Gemischs mittels eines elektrischen Plasmas, anschließendes schnelles Quenchen des Metaldampfes in einem Gasstrom (DACS), und letztendliches Auffangen des die Kolloide enthaltenden Gasstromes durch Einleiten in einen den Träger enthaltenden Slurry erzeugt werden, wurde ebenfalls Aktivität für die Propen-Epoxidation gefunden [E. E. Stangland, K. B. Stavens, R. P. Andres, W. N. Delgass; J. Catal. 191 (2000) 332–347].
- [0004]** Für auf Titandioxid durch incipient-wetness-Imprägnierung immobilisierte Silber-Partikel wurde keine solche Aktivität gefunden [T. Hayashi, K. Tanaka, M. Haruta; J. Catal. 178 (1998) 566–575].
- [0005]** Die Methode zur Herstellung der auf Metalloxiden immobilisierten Gold-Nanopartikel ist bekannt [US 4,839,327], ebenso ihre Verwendbarkeit als Oxidations-, Reduktions- und Elektrodenkatalysatoren sowie als Sensorelemente.
- [0006]** Für auf Titandioxid immobilisierte Gold-Nanopartikel wurde die Verwendung als Katalysatoren für die selektive Herstellung von Oxygenaten (insbesondere Alkohole, Ketone und Epoxide) aus Kohlenwasserstoffen [US 5,623,090] patentiert. Bekannt sind auch immobilisierte Gold-Nanopartikel auf Siliziumdioxid-Träger, auf dem Titandioxid dispergiert ist, und ihre Verwendung als Katalysatoren für die selektive Herstellung von Epoxiden aus Olefinen [US 5,965,754]. Mittels dieser Katalysatoren ist eine Oxidation der jeweiligen Kohlenwasserstoffe in einer Sauerstoff/Wasserstoff-Atmosphäre bei tiefen Temperaturen möglich.
- [0007]** Diese Patente zur selektiven katalytischen Oxidation von Kohlenwasserstoffen in Gegenwart von Wasserstoff mit Hilfe von immobilisierten Gold-Nanopartikeln belegen die breite Anwendbarkeit und erwähnen keine zu Gold alternativen Aktivkomponenten. Die Goldbeladung dieser Katalysatoren ist typischerweise hoch, wodurch die Herstellung der Katalysatoren mit erheblichen Kosten verbunden ist, was die Wirtschaftlichkeit von möglichen Prozessen beeinträchtigt.
- [0008]** Kostengünstige Silberkatalysatoren mit kleinen Silberpartikeln sind als aktiv und selektiv für die Crotonaldehydhydrierung zu Crotylalkohol bekannt. So ergibt die Herstellung von auf TiO_2 immobilisierten Silber-Nanopartikeln durch Incipient-Wetness-Imprägnierung einen Hydrierkatalysator, der sehr selektiv Crotonaldehyd zu Crotylalkohol reduziert. Dieser Katalysator weist in Abhängigkeit von der Reduktionstemperatur sehr kleine Silberpartikel auf: bei 200°C 2,8 nm, bei 400°C 1,4 nm Durchmesser. [P. Claus, H. Hofmeister; J. Phys. Chem. B 103 (1999) 2766–2775]. Auch in Oxidationsreaktionen kann Silber als Katalysator geeignet sein, so z. B. für die Epoxidierung von Ethen oder die Oxidation von Alkoholen zu Aldehyden [G. Franz, R. A. Sheldon; Oxidation in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Ed. 5, VCH Publishers, New York 1991, Vol. A 18, S. 262–311]. Katalytische Eigenschaften ähnlich denen, die für die von Haruta entdeckten Goldkatalysatoren beschrieben sind, sind für Silberkatalysatoren bisher jedoch ausgeschlossen worden.
- [0009]** Es wurde nun überraschend gefunden, daß sich auf einen Träger aufgefällte Silberkatalysatoren herstellen lassen, die eine vergleichbare katalytische Aktivität wie Goldkatalysatoren vom Haruta-Typ haben. Hierzu werden aus einer Silbersalzlösung unter Beigabe einer Verbindung, die mit Silber ein schwerlösliches Salz bildet, Silber-Nanopartikel auf dem in der Lösung dispergierten Trägermaterial abgeschieden. Optional kann der Niederschlag nach dem Trocknen getempert werden. Als Trägermaterial kommen Metalloxide in Frage, z. B. MnO_2 , Fe_2O_3 , Co_3O_4 , NiO , CuO , CuMnO_2 , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , V_2O_5 , MoO_3 , WO_3 oder Mischoxide dieser Metalloxide, vorzugsweise wird ein titanhaltiger Träger eingesetzt, z. B. Titandioxid, oder ein Träger, der mit Titandioxid beschichtet ist. Als gut lösliches Silbersalz ist z. B. Silbernitrat, -acetat, -chlorat, -perchlorat, -bromat, -fluorid, -lactat oder -propionat einsetzbar. Zur Auffällung wird einer derartigen Lösung eine Verbindung hinzugefügt, die mit Silber z. B. ein Salz der Ionen OH^- , O^{2-} , CO_3^{2-} oder $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ bildet. So hergestellte Katalysatoren können z. B. zur Epoxidation von Alkenen und zur selektiven Oxidation von Alkanen bei tiefen Temperaturen mittels eines Wasserstoff/Sauerstoff-Gemischs, zur Totaloxidation von flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen, zur Hydrierung von Alkenen und Oxygenaten, als Elektrodenkatalysatoren, als Gassensoren oder zur Tieftemperatur-Oxidation von Kohlenmonoxid eingesetzt werden.
- [0010]** Überraschenderweise zeigen diese Katalysatoren ein ähnliches Verhalten wie Katalysatoren, die auf Gold-Nanopartikeln basieren, d. h. die Epoxidation von Propen zu Propenoxid beispielsweise zeichnet sich durch eine hohe Selektivität (> 90%) aus, wobei das einzige Nebenprodukt leicht abtrennbares Kohlendioxid ist. Diese Katalysatoren zeigen ebenfalls eine Desaktivierung, die über mehrere Tage verläuft, und eine mittlere Aktivität. Weitere Gemeinsamkeit ist, daß die Reaktion nur in Gegenwart von Wasserstoff stattfindet und der Katalysator regenerierbar ist. TEM-Aufnahmen dieser Katalysatoren belegen, daß Silber gleichmäßig auf dem Träger Titandioxid dispergiert ist und die Partikel kleiner als 10 nm, überwiegend kleiner als 5 nm sind.
- [0011]** Durch Incipient-Wetness-Imprägnierung immobilisierte Silberpartikel zeigen diese spezielle katalytische Aktivität nicht, obwohl auch nach diesem Verfahren hergestellte Katalysatoren, abhängig von den gewählten Syntheseparameter, Partikelgrößen kleiner 10 nm aufweisen können.
- [0012]** Ein gleicher Zusammenhang zwischen gewählten Syntheseweg, d. h. Auffällung oder Incipient-Wetness-Im-

prägnierung, und spezifischer Aktivität ist auch für Gold bekannt und wird bei immobilisierten Gold-Nanoteilchen auf eine verschiedene bzw. unvorteilhafte Größenverteilung der Partikel zurückgeführt.

[0013] Aus den von uns gefundenen Partikelgrößen für durch incipient-wetness-Inprägnierung einerseits und durch Ausfällung erzeugte Silber-Nanoteilchen andererseits läßt sich keine Größenabhängigkeit ableiten. Dies führt zu der Annahme, daß eine spezifische Silber-Träger-Wechselwirkung, die vom gewählten Syntheseweg abhängt, als Ursache der spezifischen katalytischen Aktivität anzusehen ist. Es wurde somit überraschenderweise gefunden, daß Silberkatalysatoren ähnliche katalytische Eigenschaften aufweisen wie die nach Haruta synthetisierten Goldkatalysatoren, wenn sie auf geeignete Weise hergestellt werden. Hiermit konnte eine kostengünstige Katalysatoralternative für eine Reihe von Einsatzzwecken zur Verfügung gestellt werden.

Beispiel 1

Katalysatorpräparation

Präparation eines auf Titandioxid immobilisierten Silber-Katalysators durch Auffällung

[0014] In einer Lösung von 1 g Natriumcarbonat in 200 ml chloridfreiem dest. Wasser wurden 1,5 g Titandioxid (Hombifine N, Sachtleben Chemie) unter Rühren dispergiert und eine halbe Stunde gerührt. Der pH-Wert der Lösung betrug 11. Zu diesem Gemisch wurde eine Lösung von 55 mg Silbernitrat in 100 ml chloridfreiem dest. Wasser innerhalb einer Minute unter Rühren mit einem Magnetrührkern (600 Umdrehungen/Minute) gleichmäßig zugegeben. Nach einstündigem Rühren wurde das Titandioxid mitsamt aufgefällter Silberverbindung von der überstehenden Lösung, deren pH-Wert 11 betrug, abfiltriert, zweimal mit je 50 ml chloridfreiem dest. Wasser gewaschen und 6 Stunden bei 90°C unter Luft getrocknet. Anschließend wurde das getrocknete Filtrat kalziniert, wobei mit einem Grad pro Minute auf 250°C aufgeheizt und diese Temperatur 10 Stunden gehalten wurde. Es wurde ein Silber-Titandioxid-Katalysator mit 2,3% Gewichtsprozenten Silber erhalten.

[0015] Der so erhaltene Silber-Titandioxid-Katalysator wies bei TEM-Aufnahmen Silberpartikel von maximal 5 nm Durchmesser auf. Durch EDX-Analyse mit einem 10 nm-Meßfenster konnte eine gleichmäßige Verteilung des Silbers nachgewiesen werden.

Beispiel 2

Oxidation von Propen mit Wasserstoff und Sauerstoff

[0016] In einem Rohrreaktor mit einem Innendurchmesser von 6 mm und einem in die Katalysatorschüttung eingeführten Thermoelement wurden 0,4 g des nach Beispiel 1 synthetisierten Silber-Titandioxid-Katalysators (125–250 µm) eingefüllt. Der Rohrreaktor wurde so geheizt, daß die in der Katalysatorschüttung gemessene Temperatur konstant 50°C betrug. Dann wurde ein Gasstrom aus Propen, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff (Volumenverhältnis 10/10/10/70) durch die Katalysatorschüttung mit einer Volumenflußgeschwindigkeit von 800 ml/h (gewichtbezogene Raumgeschwindigkeit: 2000 ml g(Kat.)⁻¹h⁻¹) geleitet. Der Produktgasstrom aus der Katalysatorschüttung wurde mit einem Gaschromatographen analysiert, um die Reaktionsumsätze zu bestimmen. Die Reaktionsergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

Zeit nach Reaktionsbeginn(h)	Propenoxid-Ausbeute (%)
0.33	0.026
0.85	0.077
1.53	0.120
2.90	0.195
4.62	0.215
5.98	0.203
8.00	0.154
12.03	0.116
16.07	0.090
24.08	0.078
31.93	0.071
0.02	0.056
48.08	0.047

Beispiel 3

Oxidation von Propen mit Wasserstoff und Sauerstoff

[0017] In einem Parallelreaktor mit 16 Katalysatoraufnahmen mit einem Innendurchmesser von 5 mm wurden je

100 mg von nach Beispiel 1 synthetisierten Silber-Titandioxid-Katalysatoren mit verschiedenen Silbergewichtsgehalten und Kalzinierungstemperaturen eingefüllt. Ein Gasstrom aus Propen, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff (Volumenverhältnis 10/10/10/70) wurde durch die 16 Katalysatoraufnahmen mit einer Volumenflußgeschwindigkeit von 6400 ml/h (gewichtsbezogene Raumgeschwindigkeit: $4000 \text{ ml g(Kat.)}^{-1}\text{h}^{-1}$) geleitet. Die Reaktortemperatur betrug 50°C. Der Produktgasstrom aus der jeweils gemessenen Katalysatoraufnahme wurde mit einem Gaschromatographen analysiert, um die Reaktionsumsätze zu bestimmen. Für verschiedene Katalysatoren bestimmte Propenoxidausbeuten sind in Tabelle 2 dargestellt. Auf die gleiche Weise wurde auch ein bereits deaktivierter Katalysator mit einem Silber-Gewichtsgehalt von 2%, der bei 400°C unter Luftatmosphäre regeneriert wurde, getestet.

Tabelle 2

Silbergewichts-Gehalt/ Kalzinierungstemperatur	Propenoxid- Ausbeute (%)
2% / 400°C	0.338
2% regeneriert	0.179
3% / 400°C	0.203
4% / 400°C	0.303
5% / 350°C	0.252

Beispiel 4

Oxidation von Kohlenmonoxid

[0018] In einem Parallelreaktor mit 16 Katalysatoraufnahmen mit einem Innendurchmesser von 5 mm wurden je 100 mg von nach Beispiel 1 synthetisierten Silber-Titandioxid-Katalysatoren mit verschiedenen Silbergewichtsgehalten und Kalzinierungstemperaturen eingefüllt. Der Parallelreaktor wurde auf verschiedene Temperaturen geheizt und ein Gasstrom aus Kohlenmonoxid und Luft (Volumenverhältnis 1/99) durch die 16 Katalysatoraufnahmen mit einer Volumenflußgeschwindigkeit von 16000 ml/h (gewichtsbezogene Raumgeschwindigkeit: $10000 \text{ ml g(Kat.)}^{-1}\text{h}^{-1}$) geleitet. Der Kohlendioxid-Gehalt des Produktgasstroms aus der jeweils gemessenen Katalysatoraufnahme wurde mit einem nichtdispersiven IR-Detektor bestimmt, um den jeweiligen Reaktionsumsatz zu bestimmen. Bei verschiedenen Temperaturen bestimmte Kohlenmonoxid-Umsätze ausgewählter Katalysatoren sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3

T _{cat.} (°C)	2% Ag / 300°C	3% Ag / 300°C	4% Ag / 350°C	5% Ag / 300°C
27	2.5	6.6	12.0	11.0
70	28.4	52.7	62.9	70.1
130	96.7	100.0	100.0	100.0

Beispiel 5

Oxidation von Propan mit Wasserstoff und Sauerstoff

[0019] In einem Rohrreaktor mit einem Innendurchmesser von 6 mm und einem in die Katalysatorschüttung eingeführten Thermoelement wurden 0,13 g des nach Beispiel 1 synthetisierten Silber-Titandioxid-Katalysators (125–250 µm) eingefüllt. Der Rohrreaktor wurde so geheizt, daß die in der Katalysatorschüttung gemessene Temperatur konstant 100°C betrug. Dann wurde ein Gasstrom aus Propan, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff (Volumenverhältnis 10/10/10/70) durch die Katalysatorschüttung mit einer Volumenflußgeschwindigkeit von 520 ml/h (gewichtsbezogene Raumgeschwindigkeit: $4000 \text{ ml g(Kat.)}^{-1}\text{h}^{-1}$) geleitet. Der Produktgasstrom aus der Katalysatorschüttung wurde mit einem Gaschromatographen analysiert, um die Reaktionsumsätze zu bestimmen. Es konnten Spuren von Aceton (ca. 0.007% Ausbeute) und CO₂ im Abgasstrom bestimmt werden.

Beispiel 6

Katalysatorpräparation nach dem incipient-wetness Verfahren

Vergleichendes Beispiel

[0020] Zu 0,825 g Titandioxid (Hombifine N; Sachtleben Chemie) wurde unter gleichzeitigem Mörsern eine Lösung von 30,2 mg Silbernitrat in 0,6 ml chloridfreiem dest. Wasser in kleinen Portionen zugegeben, so daß keine erkennbare flüssige Phase neben dem befeuchteten Pulver vorlag. Das erhaltene Pulver wurde bei 90°C 6 Stunden getrocknet. Anschließend wurde das getrocknete Pulver kalzinert, wobei mit einem Grad pro Minute auf 250°C aufgeheizt und diese Temperatur 10 Stunden gehalten wurde, um einen 2,3% gewichtsprozentigen Silber-Titandioxid-Katalysator zu erhalten.

[0021] Der so erhaltene Silber-Titandioxid-Katalysator wies bei TEM-Aufnahmen Silberpartikel von maximal 5 nm Durchmesser auf. Durch EDX-Analyse mit einem 10 nm-Meßfenster konnte eine gleichmäßige Verteilung des Silbers nachgewiesen werden.

Beispiel 7

5

Oxidation von Propen mit Wasserstoff und Sauerstoff

[0022] In einem Rohrreaktor mit einem Innendurchmesser von 6 mm und einem in die Katalysatorschüttung eingeführten Thermoelement wurden 0,2 g des nach Beispiel 6 synthetisierten Silber-Titandioxid-Katalysators (125–250 µm) eingefüllt. Der Rohrreaktor wurde so geheizt, daß die in der Katalysatorschüttung gemessene Temperatur konstant 50°C betrug. Dann wurde ein Gasstrom aus Propen, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff (Volumenverhältnis 10/10/10/70) durch die Katalysatorschüttung mit einer Volumenflußgeschwindigkeit von 400 ml/h (gewichtsbezogene Raumgeschwindigkeit: 2000 ml g(Kat.)⁻¹h⁻¹) geleitet. Der Produktgasstrom aus der Katalysatorschüttung wurde mit einem Gaschromatographen analysiert, um die Reaktionsumsätze zu bestimmen. Es konnte kein Reaktionsumsatz festgestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Immobilisierung von Silber-Nanopartikeln mit einem Durchmesser < 10 nm auf einem Trägermaterial, **dadurch gekennzeichnet**, daß aus einer Silbersalzlösung unter Beigabe einer Verbindung, die mit Silber ein schwerlösliches Salz bildet, Silber auf dem dispergierten Trägermaterial abgeschieden wird. 20
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Durchmesser der Silber-Nanopartikel kleiner als 5 nm ist.
3. Verfahren nach Ansprüchen 1–2, wobei als Trägermaterial ein Metalloxid verwendet wird.
4. Verfahren nach Ansprüchen 1–3, wobei als Metalloxid MnO₂, Fe₂O₃, Co₃O₄, NiO, CuO, CuMnO₂, MgO, Al₂O₃, SiO₂, V₂O₅, MoO₃, WO₃ oder Mischoxide dieser Metalloxide verwendet werden. 25
5. Verfahren nach Anspruch 3, wobei als Metalloxid Titandioxid verwendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1–2, wobei das Trägermaterial mit Titandioxid beschichtet ist.
7. Verfahren nach Anspruch 1–2, wobei als Trägermaterial ein titanhaltiger Träger verwendet wird.
8. Verfahren nach Ansprüchen 1–7, wobei als Silbersalz Silbernitrat, -acetat, -chlorat, -perchlorat, -bromat, -fluorid, -lactat oder -propionat verwendet wird. 30
9. Verfahren nach Ansprüchen 1–8, wobei eine Verbindung beigegeben wird, die mit Silber ein Salz der Ionen OH⁻, O₂²⁻, CO₃²⁻ oder C₂O₄²⁻ bildet.
10. Katalysator, enthaltend Silber-Nanopartikel mit einem Durchmesser < 10 nm, die auf einem Trägermaterial immobilisiert sind, dadurch gekennzeichnet, daß zu seiner Herstellung ein Verfahren gemäß Ansprüchen 1–9 verwendet wird. 35
11. Katalysator nach Anspruch 10, wobei der Durchmesser der Silber-Nanopartikel < 5 nm ist.
12. Verwendung des Katalysators gemäß Anspruch 10 oder 11 zur Durchführung von Oxidationsreaktionen.
13. Verwendung nach Anspruch 12, wobei der Katalysator mit einem die zu oxidierende Verbindung, Wasserstoff und Sauerstoff oder eine Sauerstoff freisetzende Verbindung enthaltenden Gasstrom oder Reaktionsmedium kontaktiert wird. 40
14. Verwendung nach Anspruch 13, wobei dem Gasstrom oder Reaktionsmedium Wasserstoffperoxid statt Wasserstoff zugesetzt wird und die Zusetzung von Sauerstoff oder einer Sauerstoff freisetzenden Verbindung nicht zwingend erforderlich ist.
15. Verwendung nach Ansprüchen 12–14 zur selektiven Oxidation von Alkanen, Alkenen oder Kohlenmonoxid. 45
16. Verwendung nach Ansprüchen 12–15 zur Herstellung von Propenoxid aus Propen.
17. Verwendung nach Ansprüchen 12–14 zur Totaloxidation von flüchtigen organischen Verbindungen.
18. Verwendung eines Katalysators gemäß Ansprüchen 10–11 zur selektiven Hydrierung eines Alkens, wobei der Katalysator mit einem Alken und Wasserstoff enthaltenden Gasstrom oder Reaktionsmedium kontaktiert wird.
19. Verwendung eines Katalysators gemäß Ansprüchen 10–11 zur selektiven Hydrierung eines Oxygenats, wobei der Katalysator mit einem Oxygenat und Wasserstoff enthaltenden Gasstrom oder Reaktionsmedium kontaktiert wird. 50
20. Verwendung eines Katalysators gemäß Ansprüchen 10–11 mit einem Elektrodenmaterial als Träger zur Elektrokatalyse.
21. Verwendung eines Katalysators gemäß Ansprüchen 10–11 mit einem Elektrodenmaterial als Träger als Gassensor für organische Moleküle. 55

60

65

- Leerseite -